

急性運動後の脳波beta波帯域の変動

著者	佐々木 浩子, 高橋 光彦
雑誌名	北海道浅井学園大学短期大学部研究紀要
巻	40
ページ	97-104
発行年	2002
URL	http://id.nii.ac.jp/1136/00000832/

急性運動後の脳波beta波帯域の変動

Changes of Variation in EEG Beta Wave after Acute Exercise

佐々木 浩 子* 高 橋 光 彦**

Hiroko SASAKI Mitsuhiko TAKAHASHI

I は じ め に

急性運動後の脳波の変化については、睡眠や不安などの精神的作用や運動後の快適感 (feel better) を評価するための他覚的な指標として研究が行われ、脳波の変動と同時に運動後に有酸素適応者は睡眠が改善されること¹⁾や、自覚的な不安が改善される^{2, 3, 4)} ことなどが報告されている。運動後のこれらの変化は、モノアミン代謝、エンドルフィンの放出などに関連があるとされているが⁵⁾、その一方で有意な自覚的变化は認められなかった⁶⁾ など、否定的報告もあり、運動後の快適感に対する指標は十分とは言えない。

また、これらの報告は、快適感の指標として主に脳波alpha波を用いていることから、alpha波の周波数スペクトル解析によって求めたパワー積分値 (power spectral density: PSD), 全パワー積分値に対する各周波数帯域の占める比率 (power time percent: Time%), ピーク値の分布などを指標として、運動後のPSD^{7, 8)} およびTime%の増加^{9, 10)} などが報告されている。しかし、alpha波に比べ他の帯域を含む脳波全体およびbeta波に関する報告は少なく、高強度運動後でのbeta波Time%の増加¹¹⁾、周波数ゆらぎの $1/f$ もしくは $1/f^3$ から $1/f^2$ スペクトルへのシフト¹²⁾ などわずかである。

Beta波の出現はalpha波とともに正常脳波での主体をなしており¹³⁾、中心部、前頭部、側頭部などに優勢に認められている¹⁴⁾。研究の進んでいるalpha波と比較して、beta波のペースメーカーについては十分に解明されていないが¹⁵⁾、beta波は緊張や習熟、あるいは短期記憶の固定などとの関連を示すもの^{15, 16, 17)}とされており、急性運動後の快適感や精神的作用の解明のための指標として期待できると考えられる。

そこで本研究は、急性運動後の脳波の帯域全体およびbeta波帯域における変動を明らかにすることを目的として、心拍数の急激な変化を伴う比較的高強度な運動を被験者に行わせ、運動の前後で脳波の帯域全体および細分化したbeta波帯域のPSDおよびTime%の解析を行い比較検討した。

* 北海道浅井学園大学短期大学部保健体育学科

** 北海道大学医療技術短期大学部理学療法学科

II 対象および方法

1. 対象

対象は、20歳から26歳の右利きの健康成人男子9名で、年齢は平均22歳（SD=1.6）、身長は平均171.1cm（SD=4.9）、体重は平均64.4kg（SD=8.6）であった。

2. 実験手順

実験は、気温 $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度50～60%に制御した防音室内で、午前8時から正午の時間帯に行った。実験室へ入室後、被験者のその日の体調を疲労自覚症状調べ（日本産業衛生学会産業疲労研究会編）の記入と、簡易乳酸測定器（ベーリンガー・マンハイム社、アクスポーツ）による血中乳酸濃度の測定にて確認し、疲労訴え数の多い者および安静空腹時血中乳酸濃度参考値 $0.4-2.1\text{mmol/l}$ ¹⁸⁾を参考に、血中乳酸濃度の高い者には実験を中止させた。疲労自覚症状調べは各実験条件終了後にも記入させた。被験者には予め実験の主旨、体調不良の場合は途中で中止できることを説明し、同意を得た。

個々の被験者に対する運動強度は、予備実験として呼気ガス分析器（Sanei, Aerobics processor 371）を使用し、自転車エルゴメーター（Monark, Elgomedic 818）で座位にて、 $0.2\text{kp}/\text{min}$ のランプ負荷法によって測定した呼気ガスからV-slope法¹⁹⁾でVT（ventilatory threshold）を算出し、VT時点の強度（kp）を決定した。その後、VTよりも20%高い強度を計算によって求め、個々の運動強度とした。

実験条件は、15分間安静閉眼座位（pre exercise）の後、自転車エルゴメーターで毎分50回転20分間の運動を行い（exercise）、呼吸の安定を確認して再び15分間安静閉眼座位（post exercise）を行った。前後15分間の安静閉眼座位状態に脳波の測定を行い、同時に心電図も測定した。

3. 脳波の測定および解析

脳波は、国際規格10-20法に従い両耳朶を不関電極とし、単極誘導でCzおよびPzより導出し、脳波計（Sanei, IA92）を用いてポリグラフィ的に眼球運動、胸部双極誘導による心電図、呼吸曲線を同時に紙記録し、これらをアナログデータレコーダー（TEAC, XR70）に磁気録音した。脳波測定は電極インピーダンス値を $5\text{k}\Omega$ 以下に抑え、時定数0.3秒、30Hzのフィルター処理で行った。磁気録音された脳波は、A/D変換ボード（カノーパス社製, RH98/H）を用いてWave master 2（WM2）で100HzのsamplingでA/D変換し、変換後、10秒間（1000点）を1エポックとして、各条件の直前（pre）と終了直（post）各5分間30エポックについて、最大エントロピー法（Maximum Entropy Method: MEM）による周波数スペクトル解析を行った。

周波数スペクトル解析は、beta波の出現が優位で比較的安定した脳波が得られるCzについて、MEMスペクトル解析（諏訪トラスト, MemCalcSystem）を用いてラグ値400で、全周波

数 (total: 0.5–30Hz) と, delta (δ : 0.5–4 Hz), theta (θ : 4–8 Hz), 低周波alpha (α 1: 8–11Hz), 高周波alpha (α 2: 11–14Hz), 低周波beta (β 1: 14–20Hz), 高周波beta (β 2: 20–30Hz) 波のパワースペクトル積分値 (power spectral density: PSD) および各帯域の全パワー積分値に対する比率 (power time percent: Time%) を求め, それぞれ pre値とpost値との比較を行った。また, beta波帯域 (14–30Hz) については帯域内を 3 Hzごと 5 帯域 (14–17, 17–20, 20–23, 23–26, 26–30Hz) に細分し, 同様の解析を行い, 図表への表示にはpre値からの変化率を示した。

また, 心電図の R–R 間隔データより, 心拍数 (bpm) の算出 (60/RR データ (sec)) を行った。

4. 統計処理

結果の統計学的処理は, 脳波のpre値とpost値との比較については対応のある t 検定を, 心拍数については条件間で分散分析を用いて行った。

III 結 果

1. 心拍数の変化

各被験者の運動前, 運動中および運動後の平均心拍数はTable 1 に示すとおりで, 運動前には 64.1bpm (beats per minute) (SD=8.2), 運動中には127.5bpm (SD=11.8), 運動後には90.4 bpm (SD=11.9) となり, 分散分析の結果, 条件間で有意差 ($p<0.0001$) が認められた。

Table 1. Mean heart rate (bpm) of each subject

subjects	conditions		
	pre exercise	during exercise	post exercise
A	59.3	134.7	93.7
B	49.4	96.9	63.4
C	63.9	125.4	84.6
D	76.4	136.1	98.4
E	69.3	126.1	92.2
F	74.6	135.5	106.4
G	67.4	132.3	99.0
H	59.1	123.9	81.6
I	57.9	136.6	94.6
Mean	64.1	127.5	90.4
SD	8.2	11.8	11.9

significance: $p<0.0001$ among conditions

2. 脳波各帯域のPSDおよびTime%の変化

各帯域ごとのPSDおよびTime%の5分間の変化率の平均は、Fig.1に示すとおりである。図にはpre値を100%とした時のpost値を示した。pre値とpost値との比較の結果、PSDについてはpost値で増加し、theta波を除く全ての帯域で有意差が認められた。Time%については、低周波alpha、高周波alphaおよび高周波beta波で増加し、theta波で減少し、いずれも有意差が認められた。

3. Beta波の細分化帯域のPSDおよびTime%の変化

beta波各帯域ごとのPSDおよびTime%の5分間の変化率の平均は、Fig.2に示すとおりである。図にはpre値を100%とした時のpost値を示した。pre値とpost値との比較の結果、PSDについては17-20Hzを除く全ての帯域で有意な増加が認められた。Time%については23-26 Hzの帯域で有意な増加が認められた。

4. 脳波各帯域およびbeta波帯域の時系列変動

脳波各帯域およびbeta波帯域のそれぞれの占める割合の平均値の時系列変動は、Fig.3に示すとおりである。1エポックごとにpre値とpost値との比較を行った結果、それぞれ部分的に有意差が認められたエポックもあったが、全体としての規則的な変動を認めるには至らなかった。

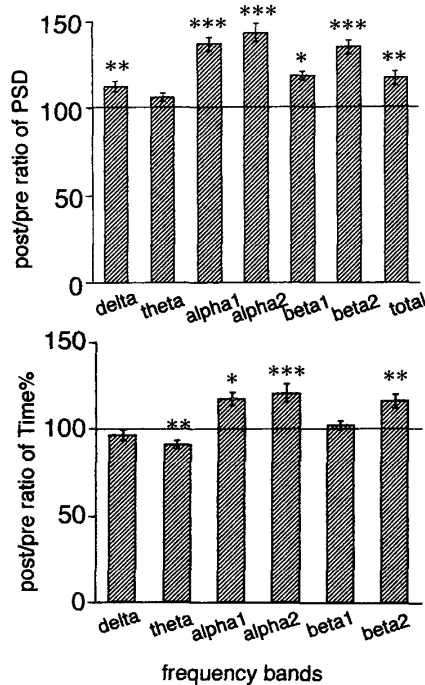


Fig.1 Mean post/pre ratio of PSD(top) and Time%(bottom) in each frequency band. Values indicate mean \pm SE and baseline is 100%. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ (vs baseline)

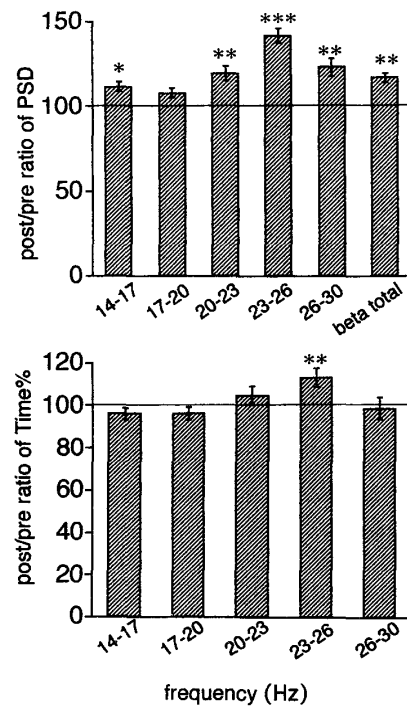


Fig.2 Mean post/pre ratio of PSD(top) and Time%(bottom) in beta band. Values indicate mean \pm SE and baseline is 100%. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ (vs baseline)

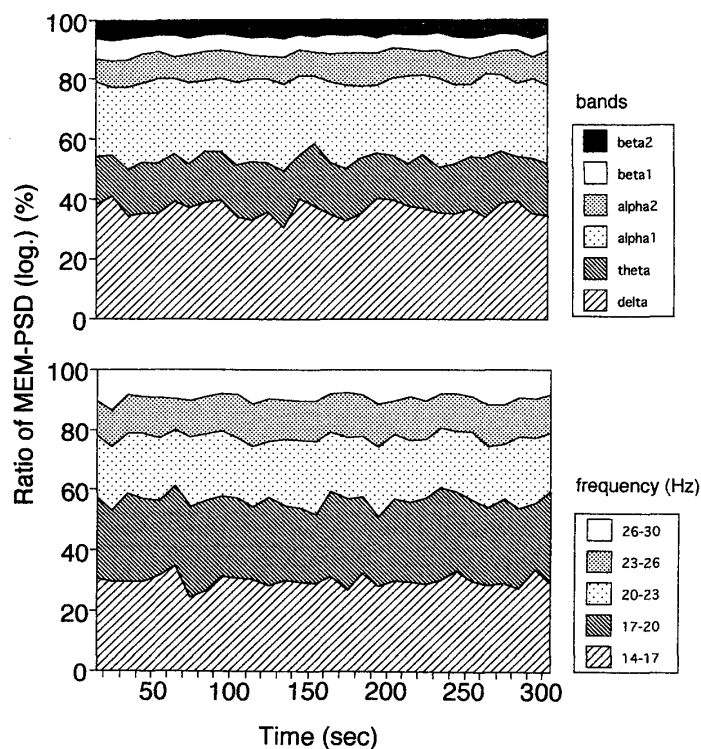


Fig.3 Changes of mean ratio (%) of MEM-PSD in each frequency band (top, 6 bands) and beta wave band (bottom, 5 bands (Hz)) for 5 minutes (300 sec.). Total PSD (top) and total amount of beta wave (bottom) indicate 100%.

IV 考 察

本実験中の各条件における心拍数で有意差が認められたことから、各被験者に対する運動強度は十分であったと考えられた。

脳波全体の変化では、全周波数帯域およびtheta波を除く各帯域のPSDが有意に増加し、特に有意差が認められた低周波alpha、高周波alphaおよび高周波beta波ではTime%も増加していた。このことは、急性運動後に帯域全体でPSDが増加し、同時に脳波全体の構成周波数の割合も変化していることを示すと考えられ、正常脳波の主体をなしているalpha波ばかりではなく、beta波を含む他の帯域も変動していることが示唆された。

beta波の変化に関しては、PSDは低周波および高周波ともに増加しているが、Time%は高周波のみで増加しており、さらに細分した帯域で見ると、高周波帯域の中間部分である23-26 HzでTime%に有意な増加が認められた。急性運動とbeta波に関する研究は少なく、それらの研究と本研究では運動強度の設定が異なるために比較は難しい。しかし、運動習慣の少ない者が多い者に高強度の運動を実施させた結果、運動習慣の少ない者でのbeta波出現の増加が報告されており¹¹⁾、これは、運動に対する適応の程度によって生体への負担が異なることによる緊張などの精神的負担を伴った結果と考えられる。また、beta波は感情や認知過程とも関連すると言われており²⁰⁾、本研究成績のbeta波PSDの増加もこれらの結果と同様に、高強度運動によ

る感情の変化の影響と考えられた。

さらに、beta波には安静状態で周波数ゆらぎの $1/f$ もしくは $1/f^3$ スペクトルの個人差が存在し、急性運動後はどちらの型も $1/f^2$ スペクトルヘシフトする現象が認められること¹²⁾やbeta波帯域の指数スペクトルについて運動の前後で比較した結果、安静状態・運動後問わず比較的安定した指数スペクトルが存在すること²¹⁾も示されている。本研究で解析に用いたCzポイントでは指数スペクトルの解析を行っていないが、同時に解析したPzポイントでの指数スペクトルでは、運動の前後で指数スペクトルの傾きに変化は認められなかった²¹⁾。本研究結果における高周波beta波帯域でのTime%の有意な増加は、PSDの増加に伴うbeta波帯域の中間部分におけるbeta波自体の構成比率の変化であり、カオス特性を変え得るような指数スペクトルの変化ではないことが推測された。

運動終了後5分間における脳波全体および細分したbeta波帯域での各周波数帯域の割合については、規則的な時系列変動を認めなかった。これは、呼吸の安定を確認して測定を行っても、運動終了後5分間の測定では運動による影響の回復には至らなかったことが考えられた。Table 1には示さなかったが、Fisher's PLSD法による心拍数のposthocテストの結果、運動の前後でも有意差($p < 0.01$)が認められ、呼吸は安定していても心拍数は依然高い値を示していた。したがって、本研究で用いた運動よりも低強度の運動もしくは本研究と同等の強度での運動後の長時間脳波測定などを行い、本研究成績で特に有意差が認められた高周波beta波の中間帯域が心拍数の低い状態もしくは安定に伴ってどのように変動するかについても今後検討をする必要があると考えられた。

しかし、全体として規則的な時系列変動を認めなかったものの、周波数帯域によっては数エポックが偶発的にも思える形で、部分的に運動前後の比較で有意差が認められた。このことは、脳波が時間経過的に微細な変動をしていることを示しており、この時間経過的な変動がどのような意味を持つのか、個人差の検討も含めて時間経過的な変動自体の周波数特性の解析も必要と考えられた。また、このような時間経過的な変動が心拍数や他の生理・生化学的指標とどのように関わっているかを検討することによって、beta波の出現およびペースメーカーの解明につながるものと考えられる。

V 結 語

急性運動後の脳波全帯域および細分したbeta波帯域のパワー積分値と全パワー積分値に対する比率の変動を明らかにすることを目的として、VTよりも高い強度で急性運動負荷を行い、運動前後の脳波の周波数スペクトルを解析し、比較検討した。その結果、

1. 運動前と比較して、運動後ではtheta波を除く全ての帯域でパワー積分値が有意に増加し、alpha波帯域および高周波beta波では全パワー積分値に対する比率も有意に増加していた。
2. 細分したbeta波帯域では、17-20Hzを除く全ての帯域でパワー積分値が増加し、有意差が認められたが、beta波全体の積分値に対する各帯域の比率は、23-26Hzの帯域のみで

有意に増加していた。

3. 脳波全体の各帯域およびbeta波各帯域のそれぞれの周波数帯域の占める割合の平均値の5分間の時系列変動について運動の前後で比較すると、部分的に有意差が認められた時間帯もあったが、全体として規則的な変動を認めるには至らなかった。

以上の結果から、心拍数の急激な変動を伴う高強度の運動後の脳波では、脳波全体の構成が変化していることが確認され、alpha波以外の帯域での変動が明らかとなった。また、beta波帯域の詳細な検討から、beta波帯域内でも比較的高周波に近い周波数帯域の割合が増加していることが明らかとなったが、この増加がカオス特性を変え得るような変化ではないことが推測された。さらに、5分間という短時間の解析では、生体が運動負荷の影響から十分回復していないことが推測され、時系列変動について明らかにすることはできなかった。今後、beta波と心拍数との関連などを含めてさらに検討が必要と考えられた。

(付記)

本研究は、平成13年度北海道浅井学園大学短期大学部特別研究費の交付を受けて実施された研究であることを付記する。

引用・参考文献

- 1) Edinger JD, Morey MC, Sullivan RJ, Higginbotham MB, Marsh GR, Dailey DS, McCall WV: Aerobic fitness, acute exercise and sleep in older men, *Sleep* 16, 351-359 (1993)
- 2) van Andel GE, Austin DR: Physical fitness and mental health: a review of the literature, *Adapted Physical Activity Quarterly* 1, 207-220 (1984)
- 3) Boutcher SH, Landers DM: The effects of vigorous exercise on anxiety, heart rate, and alpha activity of runners and nonrunners, *Psychophysiology* 25, 696-702 (1988)
- 4) Petruzzello SJ, Landers DM: State anxiety reduction and exercise: does hemispheric activation reflect such changes?, *Med Sci Sports Exercise* 26, 1028-1035 (1994)
- 5) Morgan WP: Affective beneficence of vigorous physical activity, *Med Sci Sports Exerc* 17, 94-100 (1985).
- 6) Morgan WP, Roberts JA, Feinerman AD: Psychologic effect of acute physical activity, *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation* 52, 422-425 (1971)
- 7) Stock C, Baum M, Robkopf P, Schober F, Weib M, Lisen H: Electroencephalogram activity, catecholamins, and lymphocyte subpopulations after resistance exercise and during regeneration, *Eur J Appl Physiol* 72, 235-241 (1996)
- 8) Wiese J, Singh M, Yeudall L: Occipital and parietal alpha power before, during and

- after exercise, *Med Sci Sports Exercise* 15, 117 (1983)
- 9) Youngsted SD, Dishman RK, Cureton KJ, Peacock LJ: Does body temperature mediate anxiolytic effects of acute exercise?, *J Appl Physiol* 74, 825-31 (1993)
 - 10) 見正富美子, 林達也, 柴田真志, 吉武康栄, 西嶋奏史, 森谷敏夫: 有酸素運動における脳波・血中 β -エンドルフィンの動態, *体力科学* 45, 519-526 (1996)
 - 11) Beh HC, Mathers S, Holden J: EEG correlates of exercise dependency, *International Journal of Psychophysiology* 23, 121-128 (1996)
 - 12) Akio Koyama, Kazuo Saito: Effects of Mental and Physical Workloads on EEG Fluctuation, A Recent Advance in Time-Series Analysis by Maximum Entropy Method, Hokkaido University Press, pp.345-358 (1994)
 - 13) 宮本誠司, 内海庄三郎: アルファ波の臨床的意義, *臨床脳波* 25, 293-303 (1983)
 - 14) 大熊輝男: 正常脳波, 「臨床脳波学 (第3版)」, 医学書院, 東京, pp74-110 (1983)
 - 15) 堀浩, 内海庄三郎, 斉藤正巳, 門林岩雄, 宮本誠司, 西浦信博, 柴崎浩, 井上健, 大岩稔幸, 中村道彦, 福居義久, 飯田英晴, 西島英利, 宮脇宏司, 篠崎和弘, 佐藤洋子, 石田展弥: 臨床脳波, 「脳波」門林岩雄, 井上健, 中村道彦 編, 金芳堂 京都, pp 2-88 (1983)
 - 16) 時実利彦, 岩瀬善彦, 平尾武久, 浅沼広, 岩間吉也, 藤森聞一, 元木沢文昭, 斉藤陽一: 大脳皮質の電気現象, 「生理学体系脳の生理学」時実利彦 編, 医学書院 東京, pp25-204 (1967)
 - 17) Krieger D, Dillbeck M: High frequency scalp potentials evoked by reaction time task, *Electroenceph clin Neurophysiol* 67, 222-230 (1987)
 - 18) 鈴木政登, 坂本静男, 須藤美智子, 桜井智野風, 石川和子, 松原茂, 塩田正俊, 浅野次義, 三浦次郎, 元山幹雄, 島田永和, 津田恵次郎, 高橋香代, 武田修, 小林寛道, 北原慎太郎: スポーツ医・科学の基礎知識の生理, 「スポーツインストラクターのための運動指導マニュアル」鈴木政登 編, 分光堂 東京, pp 3-125 (1992)
 - 19) Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange, *J Appl Physiol* 60, 2020-2027 (1986)
 - 20) Ray WJ, Cole HW: EEG Alpha Activity Reflects Attentional Demands, and Beta Activity Reflects Emotional and Cognitive Processes, *Science* 28, 750-752 (1985)
 - 21) 佐々木浩子, 高橋光彦: 急性運動後の脳波 β 波指数スペクトル, 北海道浅井学園大学短期大学部研究紀要, 第39号, 123-130 (2001)